

HIRSIRAKENNUKSEN ILMANVAIHDON RESTAUROINTI

Juho Nikulainen
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2025
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

Tekijä: Juho Nikulainen

Opinnäytetyön otsikko: Hirsirakennuksen ilmanvaihdon restaurointi

Työn ohjaaja: Janne Jokelainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2025

Sivumäärä: 35

Hirsirakennuksissa on ollut pääasiallisesti painovoimainen ilmanvaihto, joka on perinteinen ja ekologinen tapa huolehtia rakennusten ilmanvaihdosta. Sen toiminta perustuu ilman luonnolliseen liikkeeseen, joka syntyy lämpötilaerojen ja tuulen vaikutuksesta. Painovoimainen ilmanvaihto on ollut käytössä vuosisatojen ajan hirsirakennuksissa, mutta modernin teknologian ja ilmastointijärjestelmien myötä se on vähentynyt tai koneellistettu. Viime vuosina on kuitenkin kiinnostuttu uudelleen painovoimaisesta ilmanvaihdosta, erityisesti kestävä kehityksen ja rakennustaiteen näkökulmasta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa hirsirakennuksessa. Puulla on tutkitusti terveyttä tukevia ja edistäviä positiivisia vaikutuksia ihmiseen. Tieteellisissä tutkimuksissa on osoitettu, että painovoimaisen ilmanvaihdon säädettävyydellä on psykologisia merkityksiä ja olosuhteiden säätelyllä asumismieltyymykseen vaikutuksia. Tällä on merkittävä vaikutus etenkin Suomessa, koska kylmän ilmaston vuoksi pääosin eletään sisätiloissa.

Työssä tutkittiin painovoimaisen ilmanvaihdon restaurointia hirsirakennuksessa, mikä perustui hiilidioksidipitoisuuden mittauksiin kolmessa eri ilmanvaihtotilanteessa. Tutkimuksen ilmanvaihtotilanteet olivat hallitsematon ilmanvaihto, poistoilmaventtiilin ja tuloilmaventtiilin avaaminen. Saatuja tuloksia verrattiin määriteltyihin hiilidioksidipitoisuuden raja-arvoihin. Ne osoittavat, että tutkitun hirsirakennuksen painovoimainen ilmanvaihto täyttää määritellyt hiilidioksidipitoisuuden raja-arvot ja järjestelmä toimii asianmukaisesti.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Construction Architecture

Author: Juho Nikulainen

Title of thesis: Restoration of Ventilation in Log Building

Supervisor: Janne Jokelainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2025

Number of pages: 35

Natural ventilation has primarily been used in log buildings. Natural ventilation is a traditional and ecological method for managing indoor air quality in buildings. It relies on the natural movement of air caused by temperature differences and wind. This method has been used for centuries in log buildings but with the advent of modern technology, its use has declined. However, in recent years, there has been a renewed interest in natural ventilation, particularly from the perspectives of sustainable development and architectural heritage.

The purpose of this thesis was to explore how natural ventilation functions in a log building. Wood has been found to have positive effects on human health and well-being. The ability to control natural ventilation has been shown to have psychological significance and the regulation of indoor conditions can positively influence residential preferences. This is particularly important in Finland, where people spend much of their time indoors because of the cold climate.

The study on restoring natural ventilation in a log structure was based on carbon dioxide concentration measurements under different ventilation scenarios: first, uncontrolled ventilation, second, opening the exhaust air vent, and third, opening the supply air vent. The obtained results were compared to the defined carbon dioxide concentration limits, and they indicate that the natural ventilation in the studied log building meets the specified threshold values.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 HIRSIRAKENNUSTEN HISTORIA	6
2.1 Hirsirakentamisen historia	6
2.2 Hirren ja hirsirakennusten ominaisuudet	8
2.2.1 Puun ominaisuudet	9
2.2.2 Tekniset ominaisuudet	9
3 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO HIRSIRAKENNUKSESSA	12
3.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon kehitys	13
3.1.1 Savuhormeihin ja vuotoilmaan perustuva ilmanvaihto	13
3.1.2 Huonekohtainen ilmanvaihto ja huoneistokohtainen siirtoilmaan perustuva ilmanvaihto	14
3.1.3 Poistohormeihin ja tahattomaan tuloilmaan perustuva ilmanvaihto	15
3.2 Ilmanvaihtojärjestelyt ja -laitteet	15
3.2.1 Tuloilma	16
3.2.2 Poistoilma ja siirtoilma	19
3.2.3 Tuuletus	20
3.3 Painovoimaisen ilmanvaihdon ominaisuudet	20
4 PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON RESTAUROINTI	22
4.1 Restauroinnin periaatteet ja arkkitehtoniset vaatimukset	22
4.2 Mittauksen toteutus	23
4.3 Restauroinnin vaikutukset ilmanvaihtoon	23
4.4 Vertailu ennen ja jälkeen restauroinnin	27
5 POHDINTA	29
LÄHTEET	31

1 JOHDANTO

Suomalaiset viettävät sisätiloissa suurimman osan ajastaan. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa sisäilma muistuttaa enemmän ulkoilmaa ja sisältää runsaasti terveyttä ylläpitäviä mikrobeja. Painovoimainen ilmanvaihto on 1950-luvulle asti toiminut hallitsevana rakennusten ilmanvaihtona. Arkkitehtonisesti rakennussuunnittelu on edennyt painovoimaisen ilmanvaihdon ominaisuuksia tukien. (Mikkola, Kuuluvainen & Böök 2022.)

Työn aihe valikoitui tekijän henkilökohtaisen mielenkiinnon ja oppimisen syventämisen pohjalta. Keskeisenä tavoitteena työlle on tutkia painovoimaisen ilmanvaihdon restaurointia hirsirakennuksessa. Työssä keskitytään tutkittavan hirsirakennuksen ilmanvaihdon restaurointiin.

Työn alussa käsitellään hirsirakennusten historiaa ja puun ominaisuuksia, minkä jälkeen keskitytään painovoimaisen ilmanvaihdon historialliseen kehitykseen ja toimintaan. Restaurointi käsittää hiilidioksidipitoisuuden mittauksen kolmessa eri ilmanvaihtotilanteissa, jotka ovat hallitsematon ilmanvaihto, poistoilmaventtiilin ja tuloilmaventtiilin avaaminen.

Hiilidioksidimittauksella varmistetaan järjestelmän toimivuus käytön aikana. Lopuosiossa sovelletaan omaksuttua ja tutkittua tietoa hiilidioksidipitoisuuden mitaustulosten vertailussa määriteltyihin raja-arvoihin. Saatuja tuloksia verrataan asumisterveysasetuksen (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015), sisäilmastoluokitus 2000 (Sisäilmayhdistys 2001) ja ilmanvaihtoasetuksen (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017) määrittämiin hiilidioksidipitoisuuden raja-arvoihin.

2 HIRSIRAKENNUSTEN HISTORIA

Puurakentamisella on Suomessa pitkä historia, jonka suosio pohjautuu pitkälti puun saatavuuteen ja ominaisuuksiin. Hirsirakentaminen levisi, kun massiivisia hirsiä, ensin luonnonpyöreitä ja myöhemmin työstettyjä, alettiin käyttää asuinrakentamiseen. Hirsien työstäminen tehtiin alun perin veistämällä, ja ajan kuluessa syntyi veistäjien ammattikunta. Kylissä kiertäneet veistäjät harjoittivat ammattiin jättäen jokainen ainutlaatuisen kädenjälkensä rakennuksiin. Eri ajanjaksojen arkkitehtonisia ihanteita ja tekniikan kehitystä on voitu tunnistaa esimerkiksi koristeellisesti veistetyin nurkkasalvoksen avulla. (Ervi 1946.)

Hirsirakentaminen on kehittynyt Suomessa ulkomailta tulleiden vaikutteiden ja ihanteiden, uusien teknisten keksintöjen, vakiintuneiden käytäntöjen sekä viranomaisten ohjauksen myötä sellaiseksi, minkälaisena sen nykyään tunnistamme. Hirsirakentajina ovat toimineet kirkonrakentajat, joita kutsutaan myös kansanrakentajiksi. (Savolainen & Talve 2024, 66.) Lain määräämä, ilman korvausta tehtävä päivätyövelvollisuus pappiloiden ja kirkkojen työmailla edisti rakentamiseen liittyvää tietoutta (Viitaniemi 2016, 368–370).

Uudet innovaatiot ja paikalliset perinteet yhdistyivät käytettävissä oleviin materiaaleihin ja elinkeinojen tarvitsemiin rakennuksiin ja rakennelmiin. Suomessa rakennuskulttuuri on aina sijoittunut itäisten ja läntisten vaikutteiden väliin ja saanut vaikutusta kummaltakin suunnalta – 1900-luvun alkupuolellekin asti. Hirsirakennuksen joustavuudesta ja rakennustyyppien muuntojoustavuudesta kertoo vaikuttavimmin modernien sähköjen, vesijohtojen ja viemäreiden tuleminen osaksi rakennusta, millä saadaan lisättyä asumismukavuutta ja teknologiaa. Tällaisesta hirsirakentajista kauan sitten tuskin osasivat edes kuvitella. (Savolainen & Talve 2024, 43, 66.)

2.1 Hirsirakentamisen historia

Varhaisimmat hirsistä rakennetut talotyyppit kivikaudella ovat olleet hyvin vaatimattomia. Keskiajalla yleisin hirsirakennus Suomessa oli neliönmuotoinen

savupirtti, jossa keskellä oli tulisija ja joko rako harjalla tai siitä kehittyneempi muoto lakeinen, savun poistamiseksi. 1600-luvulta lähtien talonpoikaistalojen arkkitehtuurille suuntaa näyttivät pappilat, kartanot ja sotilaiden virkatalot. (Savolainen & Talve 2024, 73–79.)

Suomessa tällä hetkellä tunnetut vanhimmat rakennukset rakennettiin Lappeenrannan Kuurmanpohjaan noin 10 700 vuotta sitten (Schönberg 2020). Nykymuotoinen arkkitehtuuri saapui Suomeen noin 2000-vuotta sitten. Arkkitehtuuri muodostui hirsirakentamisessa käyttökelpoisuuden ja kestävyysmyötä, jotka ovat näkyvissä hyvien mittasuhteiden, käytännöllisyyden ja materiaalin tuntemuksen kautta (Savolainen & Talve 2024, 73–79).

Hirsirakentamisessa puulajeista suosituimmiksi ovat valikoituneet mänty, kuusi ja haapa, joista viimeisintä on käytetty lähinnä talousrakennuksissa. Mänty on ollut kautta aikain suosituin hirsirakennusten materiaali saatavuutensa, suoruuutensa ja tasapaksuisuutensa takia. Männyistä hongat ovat olleet arvostettuja pitkälle yltävien oksattomien runkojen sekä verrattain suuren punaisen sydänpuun osuuden myötä. Kuusta on käytetty paljon etenkin rakennuksen kattojen vuoliaisiksi, koska sitä on ollut saatavilla laajalti. (Vuolle-Apiala 2014, 14–18.)

Puut on yleensä kaadettu sydäntalvella, milloin niiden siirto hangella on ollut helppoa ja puun kuori on suojannut tulevaa hirttä. Puun kosteus on talvella matala ja puun sinistymistä ei tarvitse pelätä, mikä on yleensä ongelma kasvukaudella kaadetuissa puissa. Puut on myös voitu kasata ja työstää kehikoksi kaatopaikalla, jolloin hirsien sopivuus on kokeiltu sekä hirret merkattu valmiiksi. (Vuolle-Apiala 2014; Hiltunen 2017; Savolainen & Talve 2024, 57.)

Hirsien työstämiseen on käytetty yksinkertaisia ja laadukkaita työkaluja, joita ovat olleet kirves ja varo. Kirvestä on käytetty puun kaatamiseen ja työstämiseen, esimerkiksi paksujen runkojen pälsimiseen eli puitten sivujen oikaisuun. Varoa on käytetty tekemään hirrelle varaus eli hirren saumojen tiiviys. Yleisesti tuttu tapa on varata työstämällä päälle tulevaan hirteen alemman hirren muoto ja asettamalla hirsien väliin eristettä. (Vuolle-Apiala 2014, 42–43.) Eristeinä on käytetty yleisimmin sammalta ja savea, koska näitä on ollut saatavilla, sekä myöhemmin pellavaa (Hiltunen 2017, 56–57).

Hirsirakennuksissa on eletty ja itse rakennukset ovat myös eläneet. Ei ole ollut lainkaan harvinaista esimerkiksi vaihtaa alinta hirttä tai siirtää pihapiiriin rakennuksia palvelemaan uusia käyttötarkoituksia. Kylissä sijainneet rakennukset ovatkin palvelleet eri käyttötarkoituksia esimerkiksi eläinsuojana tai varastona. (Vuolle-Apiala 2014, 15–19.) Arkkitehtuurissa tapahtuvat muutokset ovat vaatineet yleensä rakenteissa kehitystä, josta esimerkkinä on 1700-luvulta alkaen käytetty rossipohja, joka auttoi maanvastaisten hirsien nopeaa lahoamista vastaan ja on vahvasti läsnä vielä tämänkin päivän rakentamisessa (Inberg 1762).

Hirsitaloille tyypillistä on niiden laajentaminen varallisuuden ja perheen koon myötä. 1800-luvulla alkoi yleistyä ulos lämpiävä savupiipulla varustettu paritupa, joka alkoi syrjäyttää aiemmin yleisen yksitupaisen. Varallisuuden kasvaessa huomiota kiinnitettiin myös aiempaa enemmän julkisivuihin ja niiden verhoiluun. (Museovirasto 2024.)

Hirsipinta säilyi pitkään käsittelemättömänä, kuitenkin rakennuksien lautaverhoilua aloitettiin käyttämään kartanoissa 1700-luvulla. 1800-luvulla kertaustyylien tultua muotiin yleistyi hirsitalojen laajamittainen lautaverhoilu luomaan kunkin tyylin ominaispiirteitä. (Museovirasto 2024.) Nurkkien määrää rakennuksissa on pyritty pitämään mahdollisimman alhaisena, jotta rakentaminen on ollut sujuvaa. Selkeys on yksi piirre, joka voidaan erottaa hirsirakentamisen arkkitehtuurista. Arkkitehtuuri onkin käytössä olleiden resurssien heijastuma. (Savolainen & Talve 2024, 61–64.)

2.2 Hirren ja hirsirakennusten ominaisuudet

Hirsirakenteiden toimintatapaan ja teknisiin ominaisuuksiin vaikuttavat useat tekijät, jotka ovat epämääräisiä ja muuttuvia, kuten puun sekä tilkkeen laatu, mikroilmasto ja työn laatu. Nämä määrittelemättömät tekijät vaikeuttavat hirsirakenteiden teknisten ominaisuuksien laskennallista määrittämistä sekä mittaamista. Hirren käytön vankka historia sekä siitä saatu kokemusperäinen tieto on satojen vuosien aikana kehittynyt ja kehittänyt hirsirakenteita teknisesti parempaan suuntaan. (Kaila 1997.) Yhdistämällä historiallinen tutkimustieto nykyaikaisilla

mittavälineillä tehtyihin tuloksiin hirsirakenteen teknisestä toimintatavasta saavutetaan luotettava tietämys (Jokelainen 2005, 46).

2.2.1 Puun ominaisuudet

Puun ominaisuuksia on tutkittu paljon. Puu patinoituu ja kuluu, sitä on helppo työstää ja sillä voidaan ajatella olevan oma elinkaarensa - se kasvaa, vääntyilee ja lopulta lahoaa tai palaa. Miellyttävät hajut, mitä puusta voi aistia saavat ihmisissä aikaan positiivisia vaikutuksia, rauhoittumista sekä tunnesiteen luontoon (Koga & Iwasaki 2013; Sakuragawa, Kaneko, Miyazaki & Makita 2005). Käsittelemättömät ja sileät puupinnat koetaan positiivisemmiksi kuin pintakäsittelyt puupinnat (Bhatta, Tiippana, Vahtikari, Hughes & Kyttä 2017).

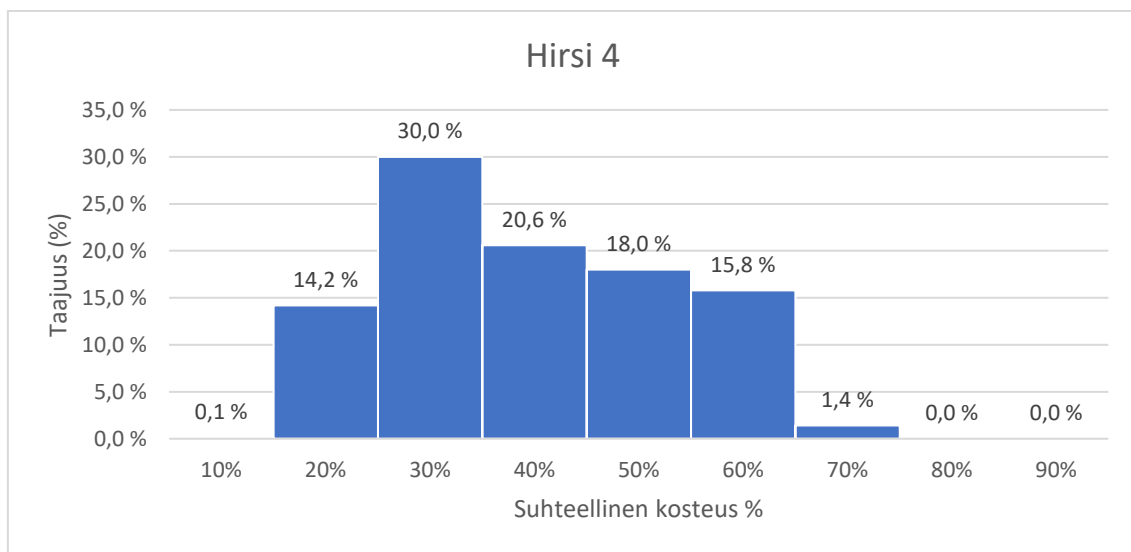
Puun käyttö sisustuksessa alentaa stressitasoja useiden tutkimusten mukaan. Tätä on tutkittu kouluympäristössä, missä sydämen sykevaihtelun perusteella on havaittu, että stressipiikki laskee puukoulun luokassa nopeammin kuin verrokki-luokassa, jossa stressitaso pysyy korkeana läpi päivän (Grote ym. 2009). Puulla on tutkittu olevan terveyttä ja mieltä elvyttäviä, restoratiivisia eli palauttavia ominaispiirteitä (Nyrud & Bringsslimark 2010; Fell 2011; Tyrväinen ym. 2014). Puutaloissa asuvien henkilöiden tyytyväisyys elämiseen on hyvälaatuista (Anttila, Pekkonen & Haverinen-Shaughnessy 2012).

2.2.2 Tekniset ominaisuudet

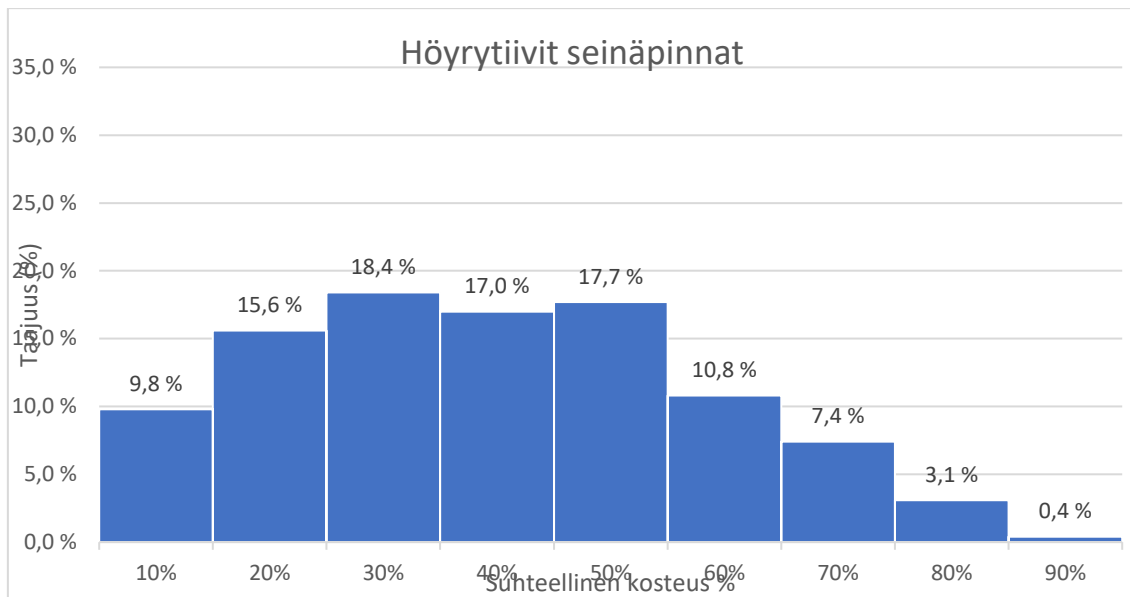
Puun kosteuspitoisuus ilmoitetaan prosentteina, joka ilmaisee puussa olevan veden painon suhdetta puun absoluuttiseen kuivapainoon. Puu alkaa kutistua, kun jonkin kohdan kosteus on laskenut noin 30 %:n alle, mitä kutsutaan puusyiden kyllästyspisteeksi. (Puuinfo Oy 2023.) Kun puun kosteuspitoisuus on alle 20 %, on se yleensä turvassa lahottajasieniltä, homeilta ja muilta biologisilta tuholaisilta (Puuinfo 2020a). Puun kutistuminen vaihtelee sen kolmessa pääsuunnassa, mikä aiheuttaa sisäistä jännitystä ja johtaa halkeiluun. Suurinta kutistuminen on vuosirenkaan suuntaisesti ja pituuskuutistuminen normaalisti kasvaneessa puussa on verrattain pientä, noin 0,2–0,3 %. (Puuinfo Oy 2023.)

Puu on hygroskooppinen materiaali eli puu voi sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman suhteellisen kosteuden vaihteluiden mukaan. Puu asettaa itsensä kosteustasapainoon aina ympäristöönsä nähden. Tämä ominaisuus säilyy kaikissa sen vaiheissa riippumatta pintakäsittelystä, jolla on vain hidastavia vaikutuksia. Hygroskooppinen massa sekä kosteuspuskurointi alentavat kosteuspitoisuuksien ääriarvoja ja toimivat sisäilman kosteuspitoisuuden tasaajina. (Ojanen 2014; Puuinfo 2020b.)

Kuvassa 1 on hirsiseinän ja kuvassa 2 höyrytiivien seinäpintojen suhteelliset kosteudet vuoden aikana. Kuvissa taajuudella viitataan suhteellisen kosteuden esiintymistunteihin verrattuna vuosittaisiin kokonaisiin tunteihin, mistä on havaittavissa hirsiseinän kyky pitää kosteus pääosin ihmisen mukavuusalueella. (Ojanen 2014.) Kosteuspuskurointikykyyn vaikuttavat puulaji, pintakäsittely, puun syysuunta sekä vaikuttavan alueen pinta-ala (Puuinfo 2020).



KUVA 1. Hirsiseinän erilaisten suhteellisten kosteusvaihteluiden esiintyminen vuoden aikana, jossa korkein suhteellisen kosteuden arvo oli 69 % (mukaillen Ojanen 2014)



KUVA 2. Höyrytiivien seinäpintojen erilaisten suhteellisten kosteusvaihteluiden esiintyminen vuoden aikana, jossa korkein suhteellisen kosteuden arvo oli 93 % (mukaillen Ojanen 2014)

Hirsiseinän lämpötekniinen toiminta perustuu johtumishäviöihin läpi seinän, seinän massiivisuuden aikaansaamaan lämmönvarauskykyyn, ilmavirtoihin seinän raoista ja rakennuksen lämmitysjärjestelmään (Viljanen, Bergman, Lempinen & Vepsäläinen 1995, 45). Lämpö siirtyy hirsiseinän sisällä johtumalla rakenteen läpi ja konvektiona seinän läpi tapahtuvien ilmavirtausten mukana. Konvektiolla on aina vaikutus pintalämpötiloihin, joka vaikuttaa johtumalla siirtyvän lämmön määrään. (Kokko & Salonvaara 1995, 3, 30–31.)

Puun lämpöominaisuuksista kertoo lämmönjohtoluku ja ominaislämpö. Lämmönjohtoluku osoittaa aikayksikössä aineen läpi johtuvan lämpömäärän, mikä on puulla alhainen. Puun ominaislämpö on korkea, mikä kertoo sen ominaisuudesta varastoida lämpöä sekä hitaasti luovuttaa sitä. (Koiso-Kanttila, Kuuskoski, Rihlala, Ruso & Sneck 1970, 292–303.) Veden korkeampi ominaislämpö verrattuna puuhun parantaa puun ominaislämpöä kosteuden lisääntyessä (Puuinfo Oy 2023, 8).

3 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO HIRSIRAKENNUKSESSA

Painovoimainen ilmanvaihto tunnetaan muillakin nimillä, joista esimerkkinä luonnonmukainen ilmanvaihto. Nimi viittaa luontoon ja luonnonvoimiin, jotka liikuttavat ilmaa, mikä liikkuu lämpötilaerojen, painovoiman ja tuulen vaikutuksesta eri sääolosuhteiden mukaisesti vaihdellen ja käyttäjien säätämänä. Painovoimainen ilmanvaihto Suomessa käsittää tavallisesti tuloilma-aukot ja poistoilmakanavat, mitkä on varustettu sopivilla venttiileillä. Tulisijallisissa rakennuksissa on perinteisesti käytetty niiden savupiippuja ilmanpoistoon, jolloin ne ovat toimineet poistomahormeina. (Mikkola & Kuuluvainen 2021.)

Lämmin ilma, joka pyrkii ylöspäin, on kevyempää kuin kylmä ilma. Lämpötilaerot rakennuksen sisällä ja ulkopuolella saavat ilman liikkeelle. Hormi-ilmiö saa lämpimän ilman nousemaan ilmanvaihto- tai savuhormeissa ja purkautumaan ulos, jolloin korvausilmaa tulee ulkoa sisälle. Tähän vaikuttaa hormin korkeus, hormin vaakasuuntaiset vedot ja tuulisuus. (Erat s.a.)

Kesäisin ilmanvaihdon tarve on moninkertainen verrattuna talveen, koska sisälämpötilat tavallisesti kohoavat ulkolämpötiloihin ja lämmin ilma tuntuu tunkkaisemmalta kuin kylmä ilma. Kesäisin ilman virtaus voi pysähtyä hetkellisesti paineerojen ollessa liian pienet, mutta tilanne on hetkellinen. Rakennuksen käyttäjä voi tehostaa ilmanvaihtoa tuulettamalla ikkunoista, ovista tai tuuletusluukuista. Auringon lämmittäessä hormien yläpäitä muodostuu hormiin tarpeeksi iso paine-ero ilman vaihtumiseen. (Erat s.a.)

Elinympäristö ja sisäilma sisältävät mikrobeja, jotka ovat terveydelle hyödyllisiä ja vahvistavat vastustuskykyä sekä suojaavat immuunijärjestelmän häiriöihin liittyviltä sairauksilta. Painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksessa sisäilma muisuttua ulkoilmaa ja sisältää runsaasti terveyttä ylläpitäviä mikrobeja verrattuna tehokkailla suodattimilla varustettuun koneellisen ilmanvaihdon rakennukseen. Tällaisessa rakennuksessa sisäilma eroaa selvästi ulkoilmasta ja sisältää suhteellisesti enemmän ihmisestä peräisin olevia mikrobeja. (Mikkola, Kuuluvainen & Böök 2022, 33.)

3.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon kehitys

Painovoimaisten ilmanvaihtojärjestelmien kehitys on vahvasti sidoksissa lämmitystapaan ja ikkunoihin. Puulämmitteisissä rakennuksissa, missä lämmitysmuotona ovat uunit, käytettiin savun poistoon ja ilmanpoistoreittinä puutorvea tai muurattua piippua. Pystysuora ilmanpoistohormi on suomalaisen painovoimaisen ilmanvaihdon keskeisimpiä osia, mikä on johdettu vesikaton yläpuolelle ja hormin päähän on voitu sijoittaa vedonparantaja tai piipunhattu. (Mikkola & Kuuluvainen 2021.)

Ikkunoita hyödynnettiin korvausilmareitteinä, joko tahattomasti tai tarkoituksella avattavien ikkunoiden kautta. Ikkunoilla on nykypäivänäkin suuri merkitys painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnassa yllämmön poistamiseen tai tuuletuksen tehostamiseen. Kehitystä tarkasteltaessa painovoimainen ilmanvaihto voidaan jakotella tulo- ja poistoilman reittien avulla savuhormeihin ja vuotoilmaan, huonekohtaiseen ilmaan, huoneistokohtaiseen siirtoilmaan ja poistohormeihin ja tahattomaan tuloilmaan perustuvaan ilmanvaihtoon. (Mikkola ym. 2022, 70–72.)

3.1.1 Savuhormeihin ja vuotoilmaan perustuva ilmanvaihto

1800-luvun jälkipuoliskolla yleistyi näkemys, että pelkkien ikkunoiden kautta tapahtuva ilmanvaihto ei ollut tarpeeksi hallittua ja tyydyttävää. Rakennuksen kaikissa huoneissa tuli olla kanavat sekä raittiin ilman sisään ottamista että käytetyn ilman poistamista varten. Tätä ennen ilmanvaihto perustui tahattomaan vaihtuvuuteen ulkovaipassa olleiden rakojen avulla, kun ilma saattoi vaihtua hirsirungossa olleiden huokoisten tilkemateriaalien tai ovien ja ikkunoiden liitoskohdissa. (Mikkola ym. 2022, 74–77.)

Puulämmitys tehosti ilmanvaihtuvuutta lämmityskaudella ottaessa huoneilmasta palamiseen tarvittavaa ilmaa. Tämä prosessi synnytti alipaineen sisälle ja korvausilmaa alkoi virrata vuotokohdista sisälle. Uuneja käytettiin myös

lämmittämättöminä tuuletukseen pitämällä suuluukut ja savupellit auki. (Säteri, Kovanen & Pallari 1999.)

Kun ikkunat tulivat osaksi rakennusta niiden rakenne oli yksinkertainen, saranoimaton sekä tiivistämätön, jolloin ilma pääsi virtaamaan ikkunan läpi suhteellisen helposti. 1700-luvulla ikkunat alettiin varustaa sisäpuitteilla, jotka tiivistettiin talveksi paikoilleen ja nostettiin pois kesäksi. Ikkunoihin lisättiin saranoita helpottamaan tuuletusta, koska tahaton ilmanvaihto alkoi tuntua riittämättömältä. Syn-teettisten ikkunatiivisteiden tullessa markkinoille 1900-luvulla ikkunoiden lävitse virtaava vuotoilmamäärä väheni huomattavasti. (Mikkola ym. 2022, 74–77.)

3.1.2 Huonekohtainen ilmanvaihto ja huoneistokohtainen siirtoilmaan perustuva ilmanvaihto

1900-luvun alussa huonekohtainen painovoimainen ilmanvaihto oli tullut vallitsevaksi järjestelmäksi. Poistoilma kuljetettiin pystyuunien savuhormeissa, mutta jos sellaista ei voitu käyttää, rakennettiin poistoilmalle oma, erillinen poistoilmahormi. Asuinrakennusten julkisivuihin varustettiin tuloilma-aukot, joissa ulkoilma kulki suoraan tai lyhyen kanavan kautta sisälle. Aluksi tuloilma-aukot varustettiin suljettavilla kansilla tai saranoiduilla luukuilla, mutta nopeasti käyttöön tulivat säädettävät venttiilit. (Mikkola ym. 2022, 78–83.)

Asunnot saatettiin varustaa keittiön ja pesuhuoneen osalta kahdella poistohormilla, joista toinen poisti palamisessa tapahtuvaa savua ja toinen höyryn ja käryn. Muut huoneet varustettiin yhdellä poistohormilla, joka saattoi toimia savu- ja ilmahormina. Suuremmissa huoneissa lämmitysuuniin liitettiin poistohormi, jonka avulla voitiin kuljettaa poistoilma ulos. Yleisesti ilman poistohormia jäivät eteiset, tuulikaapit, käytävät ja tarjoiluväliköt. Lämmitysuunien kehittyessä tuli yleiseksi kaksipeltinen järjestelmä, joka mahdollisti ilman vaihtumisen, eikä uuniin varastoitunut lämpö karannut poistoilman mukana. (Pallari, Heikkinen, Gabrielsson, Matilainen & Reisbacka 1995.)

1930-luvulla tuloilma-aukkoja alettiin vähentämään säästösyistä, ja 1950-luvulle tultaessa yleisimmäksi ilmanvaihdoksi tuli siirtoilmaan perustuva huoneistokohtainen ilmanvaihto. Järjestelmä perustui läpivirtausperiaatteeseen, missä

korvausilma tuotiin vain puhtaisiin tiloihin, kuten tavallisiin asuinhuoneisiin, ja poistohormit rakennettiin vain niin kutsuttuihin likaisiin tiloihin, kuten keittiöön, kylpyhuoneisiin ja klosetteihin. Periaatetta perusteltiin ilmanvaihtoon vaadittavien neliöiden vähenemisellä ja ajatuksena tehokkaasta ilmanvaihdosta. Samaa ilmaa voitiin käyttää likaisemmissa tiloissa uudelleen. Tiloihin, missä ilma pilaantui eniten, muodostui alipaine ja ilmanvaihtuvuus kasvoi. (Mikkola ym. 2022, 78–83.)

3.1.3 Poistohormeihin ja tahattomaan tuloilmaan perustuva ilmanvaihto

1960- ja 1970-luvuilla oli tavallista, että ilmanvaihto perustui vain tilojen poistohormeihin, tuuletusikkunoihin ja tahattomaan tuloilmaan. 1960-luvulla alettiin tuloilma-aukkoja jättämään kokonaan pois ja tahattomasti alimitoittamaan ilmanpoistojärjestelmä, mistä puuttui kunnolliset korvausilmaventtiilit. Näiden takia ikkunatuuletusta tarvittiin ajan rakennuksissa huomattavasti enemmän ja rakennuksien tuuletusikkunoita alettiin korvata kapeilla ja korkeilla tuuletusluukuilla, jotka oli suunniteltu jatkuvaan tuuletukseen sopiviksi. (Mikkola ym. 2022, 84–85.)

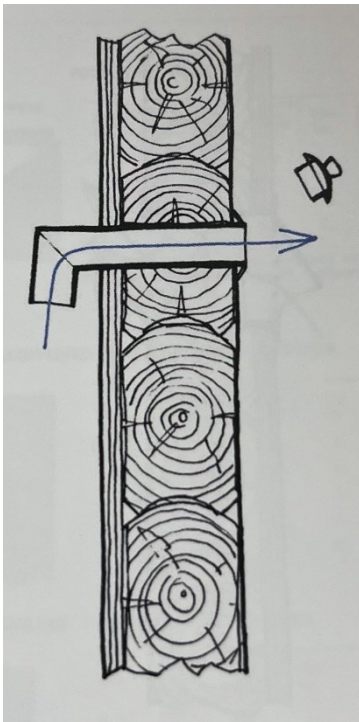
Painovoimaisesti vaihtuvan ilman määrä väheni 1960-luvulla tehtyjen ratkaisujen myötä, joten tarvittiin ilman vaihtumista tehostavia keinoja. Sähköiset tehostuspuhaltimet yleistyivät, joita asennettiin sekä uudisrakennuksiin että olemassa olevien rakennuksien kylpyhuoneisiin ja keittiöihin. Erilliset tuloilmaventtiilit tulivat tavallisiksi käyttöön 1980-luvulla. 1980-luvulla keittiöihin alkoi ilmestyä matalan lipan malliset liesituulettimet, joiden päällä yhdyskanavan edessä oli maustehylly. (Säteri ym. 1999.)

3.2 Ilmanvaihtojärjestelyt ja -laitteet

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tarvitaan ohjattua tulo-, poisto- ja siirtoilmaa, missä järjestelmän optimaaliseksi toimimiseksi edellytetään ilmavirran esteetöntä reittiä. Tuloilmaa tuodaan tuloilmalaitteilla, jotka rajoittuvat rakennuksen ulkoseinään ja ylöspäin nouseva lämmin huoneilma poistuu rakennuksesta poistoilmalaitteiden kautta. Siirtoilma virtaa painesuhteiden avulla tuloilmalaitteelta poistoilmalaitteelle rakennuksessa tilasta toiseen. (Mikkola & Kuuluvainen 2021.)

3.2.1 Tuloilma

Tuloilmaa on tuotu rakennuksiin tuloilma-aukkojen, -kanavien ja hormien kautta. Tuloilma-aukot tehtiin yleensä ennen 1800-lukua pyöreinä ja varustettiin läpimenoputkella, jonka halkaisija oli tavallisesti 7–12 cm. Kuvassa 3 esitetään yksinkertaisella venttiilillä varustettu tuloilma-aukko, joka on varustettu L-muotoisella putkella, mikä on sisäpuolelta suljettavissa kannella. (Mikkola ym. 2022, 88–89.)

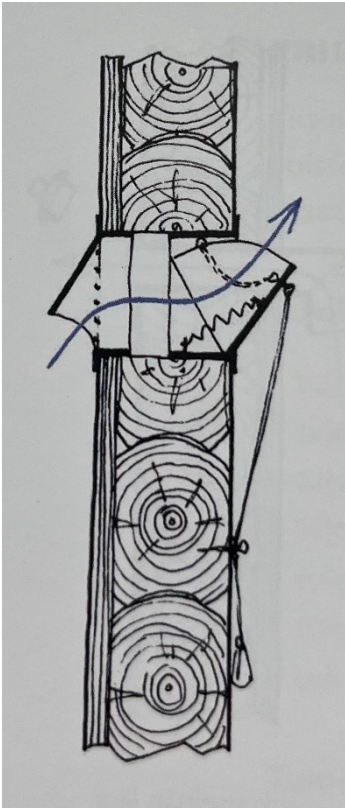


KUVA 3. Tuloilmaputki hirsiseinän läpi, joka suljetaan kannella (Mikkola ym. 2022)

1900-luvulla alettiin käyttämään tehdasvalmisteisia useammalla säätömahdollisuudella olevia venttiileitä, joiden koko yleisesti oli 13 x 15 cm. Näiden venttiileiden myötä tuloilma-aukot muotoiltiin nelikulmaisiksi. Tuloilma-aukkojen sijainti ulkoseinällä nousi lähemmäs sisäkaton alapintaa aiemmin aukon sijainnin ollessa noin 1,5 metrin korkeudella lattiasta. (Mikkola ym. 2022, 90.)

Muutoksen myötä tuloilma ei virrannut suoraan oleskelukorkeudelle vaan sekoitui huoneen yläosassa olevan lämpimämmän ilman kanssa, minkä jälkeen laskeutui tasaisemmin alaspäin. Kuvassa 4 esitetään yksinkertainen kippiventtiili ja lipalla varustettu ritilä, mitkä ohjaavat ilmavirran kohti kattoa ja ilmavirran suunnan

ansiosta vähentää valon ja äänen tuloa sekä estää sateen sisätiloihin. (Mikkola ym. 2022, 90.)



KUVA 4. Tuloilmakanava, jossa ritilä varustettu lipalla ja yksinkertainen kippiventtiili, jonka avautumista on säädeltävissä narulla (Mikkola ym. 2022)

Huonetiloihin sijoitettuja tuloilmakanavia esiteltiin 1800-luvun lopun ja 1900-luvun alun rakennusoppaissa pystyputkina, joita valmistettiin nelikulmaisina tai pyöreinä peltitorvina. Kanavat varustettiin ulkosuusta rautaverkolla, joka esti eläinten pääsyn kanaviin ja sisäpuolelta sulkupelleillä, mitkä estivät talvisin kanavan jäätyksen. Jos tuloilma-aukot sijaitsivat huoneen ylhäällä, niistä voitiin tehdä puisia sisäkattoa vasten olevia kattokanavia, joiden kylkiin tehtiin reikiä ilman virtaamiseksi tasaisesti huoneeseen. (Mikkola ym. 2022, 97.)

Tuloilma-aukot suunniteltiin 1800-luvulla pyöreiksi ja alaspäin kääntyviksi aukon ja kanavan muotoilun myötä, mikä esti sadeveden pääsyn sisään. Putken mutka pystyttiin muotoilla teräväksi tai pyöreäksi ja paksumpien putkien suut varustettiin pyöreällä kehyksellä ja suojattiin kaarevalla lipalla julkisivussa. Tuloilma-aukkojen muuttuessa nelikulmaisiksi yleistyi nelikulmaiset sadelipalliset pystysäleiköt ja verkot. (Mikkola ym. 2022, 89, 106–107.)

Isoihin rakennuksiin suositeltiin jo 1900-luvun alussa ilmanvaihtojärjestelmää, missä tuloilma lämmitettäisiin. Yksinkertaisimmillaan tämä onnistui varustamalla tuloilma-aukko pitkällä tuloilmakanavalla, joka kulki lämpimän tilan tai rakenteen läpi. Hirsirakennuksissa rakennepaksuuden kapeuden myötä tuloilmakanavia ei voitu sijoittaa ulkoseinään, vaan tuloilmaputket sijoitettiin huonetilojen sisälle tai lattioiden alle. (Mikkola ym. 2022, 96.)

Vaakasuuntaiset tuloilmaputket sijoitettiin ala- tai välipohjiin tai kellariin, mistä tuloilma nousi pystyhormeja pitkin huonetiloihin, usein lämmitysuunin taakse. Vaakasuuntaiset tuloilmakanavat voitiin sijoittaa heti välipohjan tai alapohjan täytteidensä alle, mutta täytteidensä sisään sijoittamista ei suositeltu. Pystyuuni, jossa jalustan läpi ohjataan tuloilmaa, kutsutaan ilmanvaihtolämmitysuuniksi. (Mikkola ym. 2022, 96–100.) Tällaisessa uunissa saattoi olla mahdollisuus sekoittaa huoneessa olevaa ilmaa tuloilmaan ja vaikuttaa ulkoa tulevan ilman määrään sekä uunin lämmönluovutukseen (Asp 1948).

1930-luvun lopulla tuloilmareitteinä alettiin käyttämään ikkunarakenteisiin tehtyjä ikkunakarmissa sijainneita rakoventtiileitä, käyntivälejä tai yhdistämällä nämä keinot säädettävällä venttiilillä. Ilman virratessa lasivälissä alhaalta ylös, ylhäältä alas tai sivusuunnassa laidasta laitaan, ilma lämpeni lämmöntalteenotolla ulkoa sisälle paistavasta auringonpaisteesta. Takaisinvirtaustilanteissa ulkolasi saattoi huurtua sekä silloin, kun tuloilmalle tehtiin reitti tekemällä aukko ikkunatiivisteesseen, jolloin tuloilman määrä vaihteli hallitsemattomasti sääolojen mukaan. (Kuu-luvainen ym. 2018.)

1930-luvulla tuloilma-aukkoja alettiin sijoittaa osaksi ikkunalautaa tai sen alle. Leveisiin ja mataliin aukkoihin sijoitettiin säädettävät rakoventtiilit, jotka toimivat hyvin viileällä kelillä. Kylmällä ilmalla niistä aiheutui vetoa etenkin kovalla tuulella, kun venttiilin alla sijaitseva patteri ei kerennyt lämmittää tuloilmaa. Kylmä ilma suihkusi suoraan oleskelukorkeudelle, mutta ohjaamalla tuloilmaa ylöspäin tätä pystyttiin vähentämään. Myös niin kutsuttua aeroradiaattoria alettiin käyttämään kylmän ilmasuihkun vähentämiseksi, missä patteriin sisäänrakennetussa tuloilmakanavassa tuloilma lämpeni ennen sen virtaamista käyttötilaan. Heikkoutena aeroradiaattorille oli takaisinvirtaustilanteissa tapahtuva patterin lämmön virtaaminen ulos. (Mikkola ym. 2022, 110.)

3.2.2 Poistoilma ja siirtoilma

Poistoilmaa ohjattiin rakennuksista ulos poistohormien ja pystyuunien avulla. Poistohormin suunnittelussa noudatettiin samoja sääntöjä kuin savuhormin suunnittelussa ja ne pyrittiin tekemään mahdollisimman pystysuoriksi hyvän vetoisuuden ja nuohottavuuden myötä. Hormit pyrittiin sijoittamaan rakennusmassan keskelle, jolloin ne pysyisivät riittävän lämpiminä. Puulämmitteisissä rakennuksissa ilmahormit sijoitettiin savupiippujen sekaan, missä ne lämpenivät usealta puolelta parantaen vetoa. (Mikkola ym. 2022, 114–115.)

Kunnollisen vedon saamiseksi hormeista piti tehdä riittävän korkeat, mutta toisaalta vesikaton yläpuolelle nousevan piipun korkeus haluttiin pitää maltillisena. Hormit ensisijaisesti sijoitettiin vesikaton päälle, missä ne olivat helpompi suojata kylmältä ja kastumiselta, mitkä heikensivät vetoa ja saattoivat aiheuttaa takaisinvirtausta. (Mikkola ym. 2022, 115–116.)

Poistohormit muotoiltiin katolla piipuiksi ja piipunpäät kaltevaksi ulkoreunaan kohden. Korkeampien rakennusten vieressä tuulen alla sijainneiden rakennusten piippuja jouduttiin usein korottamaan tiili- tai peltitorvella, jotta veto ei estyisi tuulen synnyttämän korkean ilmanpaineen takia. Piiput voitiin vaihtoehtoisesti varustaa kiinteillä tai liikkuvilla tuulihatuilla, joiden toiminta perustui tuulen aiheuttamaan alipaineeseen hormissa ja sai siten ilman liikkumaan. (Mikkola ym. 2022, 117, 122.)

Poistoilma-aukot sijaitsivat yleensä tilojen yläosissa, mutta samassa hormissa saattoi olla venttiili sekä huoneen ala- että yläosassa. Ajatuksena oli, että lämmityskaudella haaskataan vähemmän lämpöä, kun poistetaan viileää ilmaa lattianrajasta, eikä yläventtiilin kautta liiallista lämpöä. Poistoilmaa johdettiin myös lämmitysuunien avulla, kun niiden savuhormeja hyödynnettiin poistoilmahormeina. (Mikkola ym. 2022, 126.)

Toisinaan tulisijan yläosaan tehtiin erillinen poistoilma-aukko, josta lähti kanava tuplapeltien väliin, jottei koko uuni jäähtyisi tuuletettaessa. Lieden päälle rakennettiin usein huuva eli liesikupu, joka keräsi ruuanvalmistuksesta syntyneen vesihöyryn sekä hajut ja käryt. Luovuttaessa huuvista, korvattiin ne

poistoilmaventtiileillä tai sähköllä toimivilla tehostuspuhaltimilla. Niiden siivekkeet muotoiltiin siten, että ne päästivät ilman virtaamaan läpi myös tuulettimen ollessa pois käytöstä. (Mikkola ym. 2022, 128, 132.)

Asunnon sisällä tapahtuvaa ilman liikettä huoneesta toiseen sanotaan siirtoilmaksi. Siirtoilmareitteinä käytettiin oviin ja seiniin tehtyjä ilma-aukkoja, mitkä saattoivat olla ryhmä tai rivi pyöreitä aukkoja tai pitkulaisia ylä- tai alaosassa ovea sijainneita tuuletusreikiä. Läpivirtausperiaatteen myötä yleistyivät oven ja kynnyksen väliin jäävät oviraot sekä portaikko, mitkä toimivat siirtoilmalaitteina. (Ketola 2014.)

3.2.3 Tuuletus

Läpituuletus ja yhden seinän kautta tapahtuvat tuuletus ovat yleisimpiä tuuletustapoja, millä saadaan ilma vaihtumaan tehokkaasti. Läpituuletuksessa ilma vaihtuu tehokkaammin, eikä laske juurikaan sisälämpötilaa toisin kuin yhden seinän tuuletus. Läpituuletus vaatii toimiakseen kahdelta vastakkaiselta seinältä sopivan tuuletusreitit. Reitit tulisi olla mahdollisimman esteetön ja suora, muttei myöskään liian pitkä ollakseen tehokas. (Mikkola & Kuuluvainen 2021.)

Läpiveto syntyy tyynelläkin ilmalla, kun auringon puolella oleva ulkoilma on lämpimämpää kuin varjon puolella, milloin riittävä paine-ero syntyy ja ilma alkaa virtaamaan. Yhden seinän tuuletus perustuu sisä- ja ulkolämpötilojen paine- ja kaumaan. Tätä voidaan käyttää myös useampikerroksisissa rakennuksissa, joissa tilat ovat avoimesti yhteydessä toisiinsa. Tällöin toiminta perustuu ilmanvaihtoa tehostavaan paine-eroon. (Mikkola & Kuuluvainen 2021.)

3.3 Painovoimaisen ilmanvaihdon ominaisuudet

Painovoimaisen ilmanvaihdon tuloilma-aukoissa ja poistohormeissa virtaavan ilmamäärän voimakkaan vaihtelun vuoksi ja ihmisten omista mieltymyksistä sisäilmastoon, tulo- ja poistoventtiileiden on hyvä olla helposti säädettäviä. Säädettävyydellä on tutkitusti olevan psykologisia merkityksiä ja olosuhteiden säätelyllä asumismieltyykseen positiivisia vaikutuksia. Niillä on merkittävä vaikutus

etenkin Suomessa, missä pääosin eletään sisätiloissa kylmän ilmaston vuoksi. (Mikkola ym. 2022, 59.)

Ilmanvaihdolla on huomattava vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Energiansäästön kannalta liian pienellä ilmanvaihdolla voidaan aiheuttaa riski kosteusvaurioon, jonka korjausten energiakulut ovat monikymmenkertaiset verrattuna säästöön. Liian suureksi säädetyllä ilmanvaihdolla haaskataan lämmitysenergiaa, kun lämmityskaudella tuloilma lämpiää sisätiloissa ja vie poistuesaan huomattavia määriä lämpöä. Riittävän ilmanvaihdon määrittämiseen vaikuttavat rakennuksen käyttö, henkilömäärät, rakennusmateriaalit ja pintakäsittelyt. (Mikkola ym. 2022, 61.)

Tampereen teknillisessä yliopistossa selvitettiin 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä olemassa olevien rakennusten toteutuneen energiankulutuksen ja ilmanvaihdon yhteyttä. Tuloksissa havaittiin, että painovoimaisen ilmanvaihdon rakennusten käytönaikainen kokonaisenergiankulutus oli keskimäärin alhaisempi kuin koneellisen ilmanvaihdon rakennusten huolimatta siitä, oliko koneellisessa ilmanvaihdossa lämmöntalteenottoa. (Vinha ym. 2005.)

Painovoimaisen ilmanvaihdon energiataloudellisuutta voidaan selittää tarpeenmukaisella säädettävyydellä, järjestelmä ei itsessään kuluta energiaa, käyttöikä on pitkä, huollettavuus ja korjaaminen on yksinkertaista. Tarpeenmukainen ilmanvaihto korostuu lämmityskaudella, kun kylmä tuloilma aiheuttaa vedon tunnetta tai vähäisellä käytöllä olevien huoneiden osalta kannustaa säätämään venttiileitä pienemmälle. Se ohjaa energiansäästöön sekä ehkäisee sisäilman kuivumista, mikä on painovoimaisen ilmanvaihdon vahvuuksia. (Mikkola & Kuuluvainen 2021.)

4 PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON RESTAUROINTI

Esimerkkikohteena on 1906 rakennettu hirsinen huonerakennus, jonka hiilidioksidipitoisuuksia on seurattu 15.3.–10.4.2025 välisenä aikana. Rakennus on siirretty ja otettu asuinkäyttöön vuonna 2000 Oulussa, Sanginsuussa. Rakennuksen huoneistoala on 81 m² ja sisätilan tilavuus 234 m³. Pääasiallinen lämmitysmuoto on uunilämmitys, jossa käytetään puuta ja varalämmitysmuotona sähköpatterit.

Eteinen, keittiö ja olohuone sijaitsevat samassa tilassa. Makuuhuone on erillinen tila, mutta sen ovea pidettiin seurantajakson ajan auki, jolloin se oli lämmityksen ja ilmanvaihdon kannalta samaa tilaa. Rakennukseen kuuluu erillisellä rungolla oleva kylpyhuone, joka toimii itsenäisesti lämmityksen ja ilmanvaihdon osalta.

Rakennuksen on rakennuttanut VR, ja sen asuinhuone on varustettu noin 15x15 cm tuloilmaventtiilillä, kahdella peltikuorisella lämmitysuunilla ja hormistolla, jossa on kolme puolenkiven savuhormia ja ilmanvaihtohormi, joka on kooltaan puolen kiven (16x16 cm) kokoinen (Valtioneuvoston kirjapaino 1930). Ilmanvaihtohormin suuluukku sijaitsee 2750 mm ja yläpää 7550 mm korkeudella lattiapinnasta, jolloin ilmanvaihtohormin toiminnallinen korkeus on 4800 mm.

4.1 Restauroinnin periaatteet ja arkkitehtoniset vaatimukset

Painovoimaisen ilmanvaihdon säilyttäminen rakennushistoriallisesta näkökulmasta katsottuna on tärkeää, koska rakennukset on suunniteltu tyypillisesti ilmanvaihdon ehdoilla. Tämä näkyy erityisesti ulkoseinärakenteiden massiivisuudessa ja yksiaineisuudessa sekä tilajaossa. Rakennustaiteellisesti rakennusten ilmanvaihtoon käytettävät laitteet, kattomaisema ja kulttuurihistorialliset kerrostumat ovat säilyttämisen arvoisia. (Kalakoski 2023.)

Esimerkkikohteen restaurointi käsittää hiilidioksidipitoisuuksien seurannan, minkä avulla voidaan tutkia sisäilmaston laatua ja ilmanvaihdon toimintaa. Restauroinnin tarkoituksena on tutkia, onko mahdollista saavuttaa painovoimaisella

ilmanvaihdolla korkeatasoinen sisäilmasto. Tällöin rakennuksen arkkitehtuuri säilyisi ehyenä ja häiritsevää sekä kallista koneellista ilmanvaihtoa ei tarvittaisi.

Restaurointi on yksi korjausrakentamisen toimenpiteistä, mutta suurin osa korjausrakentamisesta ei taas täytä restauroinnin vaatimuksia. Eurooppalaisen kulttuuriperintöpolitiikan sanasto (Euroopan neuvosto, Museovirasto & Sanastokeskus TSK 2011) määrittelee restauroinnin seuraavasti:

Vanhat rakennustavat huomioon ottava, kulttuurihistoriallisen arvon säilyttävä korjaaminen, johon voi sisältyä konservoivia, rekonstruoivia ja entistäviä toimenpiteitä sekä uudisrakentamista.

4.2 Mittauksen toteutus

Ilmanvaihdon hiilidioksidimäärien mittauksiin käytettiin Air Control 5000 -laitetta ja tuloksia tarkasteltiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Hiilidioksidipitoisuuden mittayksikkönä käytetään ppm, joka on tilavuuden miljoonasosa. Mittausta suoritettiin rakennuksen asuinhuoneessa mittausajanjaksolla 11.3.2025–10.4.2025. Mittaustuloksia otettiin viiden sekunnin välein, joista koostettiin puolen tunnin keskiarvoinen tarkasteluväli. Maaliskuun keskilämpötila oli $-1,8\text{ °C}$ ja huhtikuun $2,1\text{ °C}$ sekä sisälämpötila asuinhuoneessa oli keskimäärin 16 °C .

Mittauslaite sijoitettiin huonerakennuksen olohuoneen pöydälle, missä se ei ollut suoraan uloshengitysilman tai tuloilmapuhalluksen vaikutusalueella. Mittauksia tehtiin koko vuorokauden ja tuloksia tarkasteltiin myös yöajalta rakennuksen käytön ollessa täysin vertailukelpoista. Asuinrakennuksessa asui kaksi ihmistä, jotka oleskelivat rakennuksessa yleensä arkipäivisin kello 17.00–8.00 ja perjantaista maanantaihin kello 17.00–11.00. Lähtötilanteessa asukkaat ovat sulkeneet asuinhuoneen tuloilma- sekä poistoilmaventtiilin.

4.3 Restauroinnin vaikutukset ilmanvaihtoon

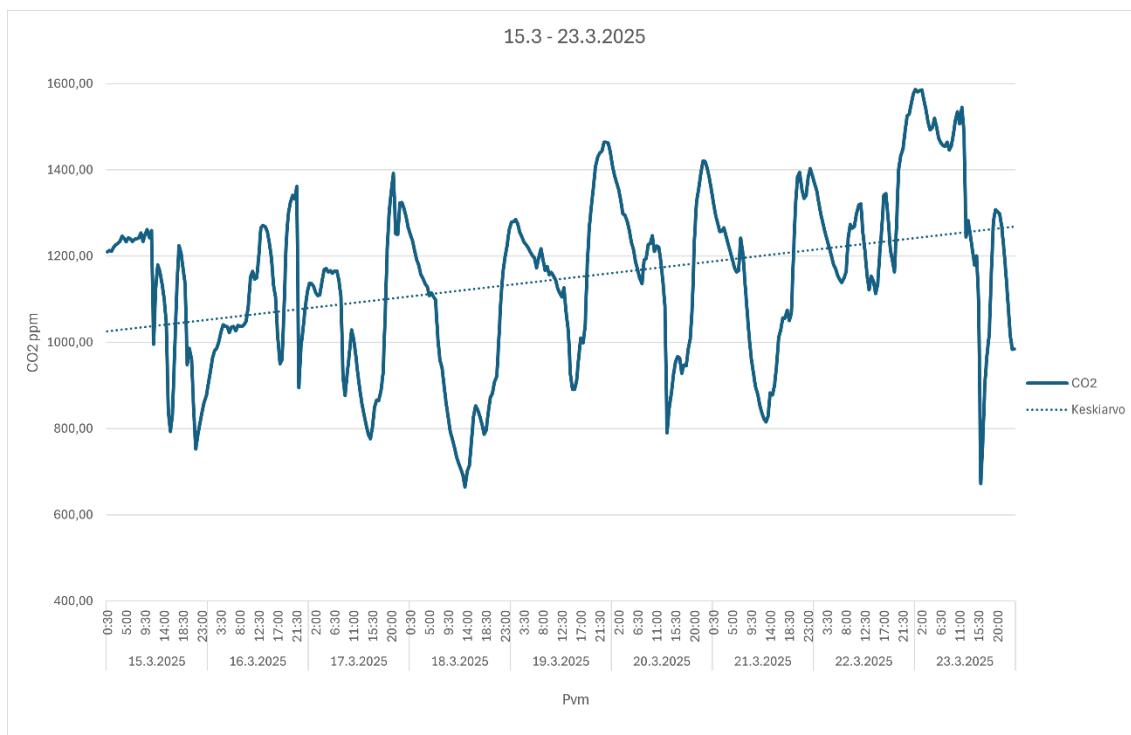
Tuloksia tarkastellessa huomattiin, että hiilidioksidipitoisuuden muutokset tapahtuvat hitaasti vieden useita tunteja. Seurantajakson aikana ilmanvaihdossa oli

kolme vaihetta, joista ensimmäinen vaihe oli hallitsematon ilmanvaihto, toinen poistoilmaventtiin avaaminen ja kolmas tuloilmaventtiin avaaminen.

Seurantajakson ensimmäisessä vaiheessa 15.3.–23.3.2025 ilmanvaihto oli hallitsematonta. Ilma pääsi vaihtumaan rakenteiden läpi ja uunilämmityksen vaikutuksesta. Uunilämmityksen myötä vaihtuva ilmamäärä oli noin 39 m³ tunnissa käytettäessä uunissa palavan puukilomäärän ilmamääräksi 10 m³/kg ja yhden uunin tarvitsemaa ilmamäärää 78 m³ noin kahden tunnin aikana.

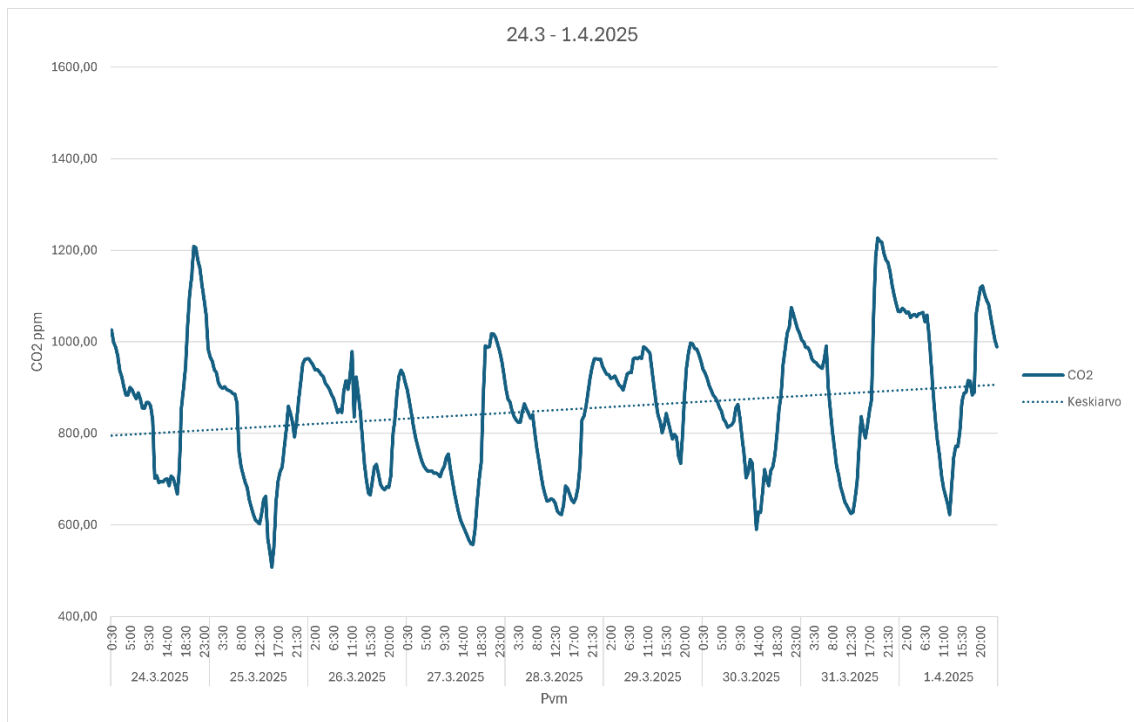
Tarkasteluaikana lämmitettiin kahta uunia ja lämmitysaika oli noin kaksi tuntia. Uunien vaikutuksesta tuloilmaa tarvittiin noin 156 m³ ja kohderakennuksen ilma-tila on 234 m³. Nykyvaatimus rakennuksen ilmanvaihtuvuudelle on kerran kahdessa tunnissa (FINVAC ry ym. 2019). Uunien merkitys rakennuksen ilmanvaihdolle on reilut 50 % nykyvaatimuksesta toimien vain kahden tunnin ajan, millä ei ole suurta merkitystä ison ilmatilavuuden rakennuksessa.

Sisäilman laatu koettiin asukkaiden mielestä arkipäivisin tyydyttäväksi ja viikonloppuisin sisätiloissa oleskelun ollessa pidempää sisäilmanlaatu koettiin huonoksi. Asukkaat kokivat uunilämmityksen parantavan sisäilmanlaatua, koska ilma pääsi vaihtumaan. Kuvassa 5 esitetään ensimmäisen vaiheen hiilidioksidipitoisuus ja sen keskiarvo kuvaajana. Keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus tänä aikana oli 1147 ppm ja korkein arvo 1586 ppm. Yöaikainen hiilidioksidipitoisuus oli keskimääräisesti 1262 ppm, korkein arvo 1586 ppm ja matalin arvo 1028 ppm.



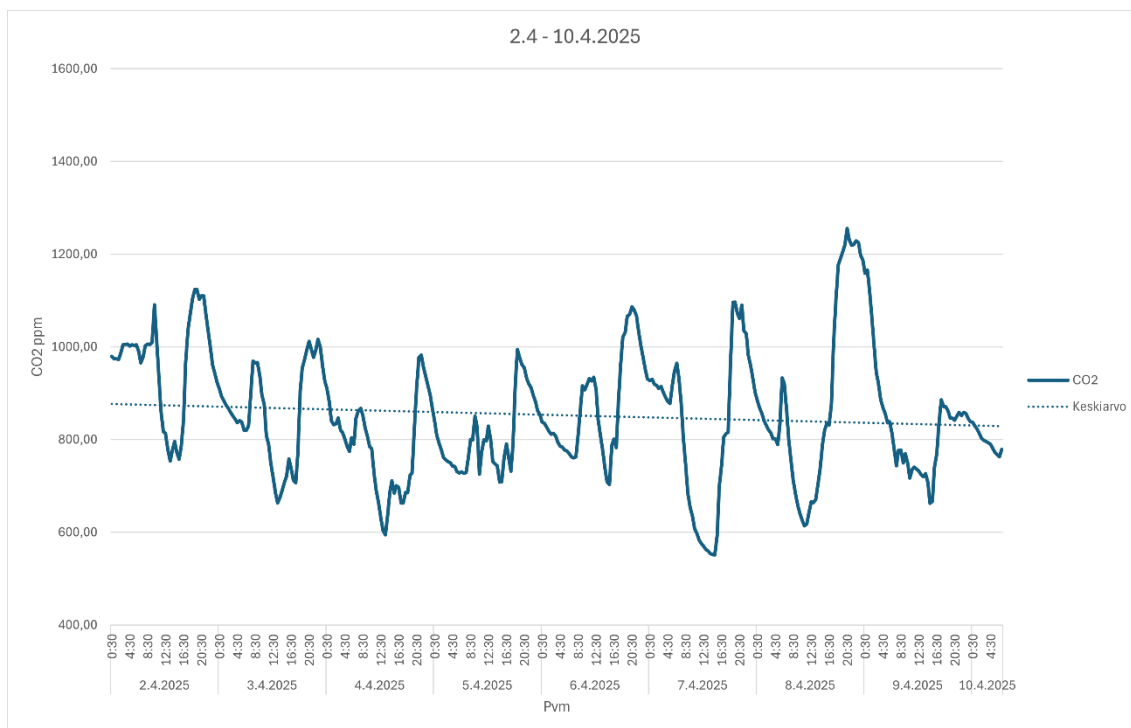
KUVA 5. Hiilidioksidipitoisuus 15.3.–23.3.2025 välisenä aikana, milloin ilmanvaihto oli hallitsematonta

Toisessa vaiheessa 24.3.–1.4.2025 poistoilmaventtiili avattiin. Ilman määrää hormissa ei pystytty määrittämään. Kokemusperäisesti tällä havaittiin olevan asukkaiden mielestä parantava vaikutus sisäilmanlaatuun. Sen avaamisella ei koettu olevan sisälämpötilan laskua tai lämmitystarpeen kasvua. Kuvassa 6 esitetään toisen vaiheen hiilidioksidipitoisuus ja sen keskiarvo kuvaajana. Keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus tänä ajanjaksona oli 850 ppm ja korkein arvo 1303 ppm. Yöaikainen keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus oli 939 ppm, korkein arvo 1160 ppm ja matalin arvo 717 ppm.



KUVA 6. Hiilidioksidipitoisuus 24.3.–1.4.2025 välisenä aikana, milloin ilmanvaihdon poistohormin venttiili avattiin

Kolmannessa vaiheessa 2.4.–10.4.2025 avattiin olohuoneen ulkoseinän yläosassa oleva tuloilmaventtiili kooltaan 150 x 150 mm. Venttiilin kautta tapahtuvaa ilmamäärää ei pystytty määrittämään. Asukkaat kokivat venttiilin aukaisun laskevan sisälämpötilaa, mutta ei vaikuttavan sisäilmanlaatuun. Kuvassa 7 esitetään kolmannen vaiheen hiilidioksidipitoisuus ja sen keskiarvo kuvaajana. Keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus tänä ajanjaksona oli 859 ppm ja korkeimmillaan 1255 ppm. Yöaikainen keskimääräinen pitoisuus oli 893 ppm, korkein arvo 1228 ppm ja alimmillaan 727 ppm.



KUVA 7. Hiilidioksidipitoisuus 2.4.–10.4.2025 välisenä aikana, milloin ilmanvaihdossa oli käytössä tuloilmaventtiili ja poistohormi

4.4 Vertailu ennen ja jälkeen restauroinnin

Ilmanvaihdon toimintaa tarkastellaan asumisterveysasetuksen (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015), sisäilmastoluokitus 2000 (Sisäilmayhdistys 2001) ja ilmanvaihtoasetuksen (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017) osalta, missä määritellään hiilidioksidipitoisuuden ylärajat. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta ei pystytty mittaamaan, jolloin sen arvona käytetään 400 ppm (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015). Sisäilman hiilidioksidipitoisuus vaihtelee ulkoilman mukaan ja siksi ylärajat on annettu suhteessa ulkoilman pitoisuuteen.

Asumisterveysasetus (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015) määrittää sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpiderajaksi 1150 ppm suurempi, kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus.

Ensimmäisen vaiheen keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus oli 1147 ppm, toisen vaiheen 850 ppm ja kolmannen vaiheen 859 ppm. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus 400 ppm huomioiden mittaustulokset ovat ensimmäisen vaiheen 747 ppm, toisen vaiheen 450 ppm ja kolmannen vaiheen osalta 459 ppm suuremmat kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuudet. Kaikissa vaiheissa keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus alittaa asumisterveysasetuksen toimenpiderajan. Kokemusperäisesti ilmanvaihto koettiin asukkaiden osalta olevan hyvää toisessa ja kolmannessa vaiheessa.

Sisäilmastoluokitus 2000 määrittää yksilöllisen sisäilmaston hiilidioksidipitoisuuden ylärajaksi 700 ppm, hyvän sisäilmaston ylärajaksi 900 ppm ja tyydyttävän sisäilmaston ylärajaksi 1200 ppm, missä on huomioitu ulkoilman hiilidioksidipitoisuus 350 ppm (Sisäilmayhdistys 2001). Ensimmäisen vaiheen keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus oli 1147 ppm, toisen vaiheen 850 ppm ja kolmannen vaiheen 859 ppm. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus 400 ppm huomioiden mittaustulokset ovat ensimmäisen vaiheen 747 ppm, toisen vaiheen 450 ppm ja kolmannen vaiheen osalta 459 ppm suuremmat kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuudet. Kaikki vaiheet alittavat sisäilmastoluokitus 2000 määrittämän tyydyttävän sisäilmaston ylärajan ja hyvän sisäilmaston ylärajan alittavat toinen ja kolmas vaihe.

Ilmanvaihtoasetus määrittää uuden rakennuksen sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ylärajan 800 ppm korkeammaksi kuin ulkoilman (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017). Ensimmäisen vaiheen keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus oli 1147 ppm, toisen vaiheen 850 ppm ja kolmannen vaiheen 859 ppm. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus 400 ppm huomioiden mittaustulokset ovat ensimmäisen vaiheen 747 ppm, toisen vaiheen 450 ppm ja kolmannen vaiheen osalta 459 ppm suuremmat kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuudet ja kaikki vaiheet alittavat ylärajan.

Tutkimustulosten vertailu osoittaa, että ilmanvaihdon hiilidioksidipitoisuus alittaa määritellyt raja-arvot. Ensimmäinen ilmanvaihtovaihe pärjää vertailussa heikoin, mikä kuvastaa hallittujen ja suunniteltujen ilmanvaihtoreittien tarpeellisuutta, mitkä ovat säädeltävissä sääolojen ja ihmisten mieltymysten mukaan. Toinen ja kolmas ilmanvaihtotilanne vertautuu hyvään sisäilmastoon hiilidioksidipitoisuuksien osalta, missä ilmanvaihto perustui suunniteltuihin ilmareitteihin.

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja kerätä tietoa painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnasta hirsirakennuksessa sekä restauroinnista. Työssä kerättiin hiilidioksidipitoisuuden tutkimustuloksia kolmessa eri ilmanvaihtotilanteessa, millä tarkastellaan painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuutta. Tutkimustulokset osoittavat, että tutkitun rakennuksen ilmanvaihto alittaa määritellyt hiilidioksidipitoisuudet ja varmistutaan järjestelmän toimivuudesta. Tulokset osoittavat painovoimaisen ilmanvaihdon vikasietoisuuskyvyn. Arkkitehtuurin kannalta painovoimainen ilmanvaihto edustaa ajallensa tyypillistä rakennustekniikkaa, mitä ei sovi unohtaa.

Painovoimainen ilmanvaihto omaa pitkän historian Suomen rakennuskannassa. Painovoimaisen ilmanvaihdon kannalta on tärkeää ymmärtää kyseisen ilmanvaihdon erityisominaisuudet ja toiminta, jotta pystytään arvioimaan erilaisia toimenpiteitä, millä ilmanvaihto saadaan säilytettyä. Arkkitehtuurin näkökulmasta painovoimaisella ilmanvaihdolla on historiallista kerroksellisuutta, ominaisia hienostuksellisia piirteitä ja luonnollisuutta, mitkä tulisi ottaa huomioon ilmanvaihtoon liittyvissä asioissa. Teknisesti painovoimainen ilmanvaihto on vikasietoimpi kuin koneellinen ilmanvaihto.

Mittarin annettiin tasaantua vallittuihin olosuhteisiin rakennuksessa usean päivän ajan, ennen mittausajanjakson aloittamista. Seurantajakson ollessa jokaisessa eri ilmanvaihtotilanteissa vähintään kahdeksan päivää, saavutettiin luotettavia mittaustuloksia. Tulokset olivat toistettavia mittaustulosten syklien ollessa toisiinsa nähden samansuuruisia ja suuntaisia. Mittaustulokset olivat arvoiltaan linjassa aiemman kirjallisuuteen perustuvan tiedon kanssa, mutta lämmitysuunien vaikutus hiilidioksidipitoisuuteen oli vähäinen, mikä oli yllättävää.

Talvella ulko-olosuhteiden pienen vaihtelun ja alhaisen lämpötilan vuoksi mittaustulosten arviointi on helpompaa ja luotettavampaa kuin kesällä. Mittaustuloksiin liittyy aina epävarmuutta, joka voi erota mittauslaitteen aiheuttaman virheen takia todellisesta pitoisuudesta. Mittauksen tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan parantaa rinnakkaisilla mittauksilla sekä toistamalla mittaus eri kohdista tai ajankohtina.

Tämän työn myötä heräsi mahdollisia jatkotutkimusaiheita. Yksi niistä on eri rakennustyyppien hiilidioksidipitoisuuden tutkiminen, missä tutkittavana kohteena olisi painovoimaisella ilmanvaihdolla toimiva kerrostalo tai julkinen rakennus. Toinen tutkimuksen aihe olisi painovoimaisen ilmanvaihdon restauroinnin vaikutukset ihmisiin, missä tutkittaisiin ihmisessä tapahtuvia vaikutuksia ennen ja jälkeen restauroinnin.

Painovoimaisella ilmanvaihdolla on paikkansa sekä uudisrakentamisessa että korjausrakentamisessa, missä sen toimintaa tulisi pohtia säilyttämisen näkökulmasta. Rakennusten suunnittelussa on edetty painovoimaisen ilmanvaihdon ominaisuuksia tukien, jolloin lopputuloksena on saavutettu rakennustaiteellisesti sekä teknisesti arvokkaita rakennuksia. Tässä työssä on tutkittu painovoimaisen ilmanvaihdon hiilidioksidipitoisuuksia hirsirakennuksessa. Teknisten järjestelmien, kuten painovoimaisen ilmanvaihdon restaurointi on tärkeää, ja osa kulttuuriperinnön suojelua ja säilyttämistä.

LÄHTEET

Anttila, M., Pekkonen, M. & Haverinen-Shaughnessy, U. 2012. Asumisterveys ja -tyytyväisyys hirsitalossa. Altti-tutkimukseen perustuva selvitys. Juvenes Print - Suomen Yliopistopaino, Tampere. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-245-762-2>. Luettu: 20.2.2025.

Asp, G.E. 1948. Uuninmuuraaja. Kustannusosakeyhtiö Otava. Helsinki.

Bhatta, S.R., Tiippana, K., Vahtikari, K., Hughes, M. & Kyttä, M. 2017. Sensory and emotional perception of wooden surfaces through fingertip touch. *Frontiers in Psychology*, 8, MAR, s. 237486. Luettavissa: <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2017.00367/BIBTEX>. Luettu: 12.5.2025.

Erat, B. s.a. Luonnonmukainen ilmanvaihto. Luettavissa: https://www.luomura.com/@Bin/213022/Erat_Luonnonmukainen+ilmanvaihto_++kotisivuver-sio+ 11+958.pdf. Luettu: 5.4.2025.

Ervi, A. 1946. Puurakennustaito. Suomen Kirja. Helsinki.

Euroopan neuvosto, Museovirasto & Sanastokeskus TSK 2011. EUROOPPALAISEN KULTTUURIPERINTÖPOLIITIKAN SANASTO. Museovirasto. Helsinki. Luettavissa: <https://stmuseovirastoprod.blob.core.windows.net/museovirasto/Arkisto-ja-kokoelmapalvelut/Julkaisut/kulttuuriperintopol-sanasto.pdf>. Luettu: 3.5.2025.

Fell, D.R. 2011. Wood and human health. Luettavissa: <http://forresweb.com/fpi-publications/#woodhh>. Luettu: 5.3.2025.

FINVAC ry, Suomen LVI-liitto SuLVI ry, VVS Föreningen i Finland rf, Sisäilmäyhdistys ry, Lämpöinsinööriyhdistys ry, Rakennustarkastusyhdistys RTY ry & Talotekninen teollisuus ja kauppa ry 2019. Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. Luettavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitoitukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB_14D9C1820FE9-144725.pdf/338c293d-f4b5-514b-d6d9-1ddc0dc225f0/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-

[mitoitukseen 2019-C28A5C3D 0A1B 4504 98BB 14D9C1820FE9-144725.pdf?t=1603260100069](https://doi.org/10.1186/1880-6805-32-144725). Luettu: 22.5.2025.

Grote, V., Avian, A., Frühwirth, M., Hillebrand, C., Köhldorfer, P., Messerschmidt, D., Resch, V., Schaumberger, K., Zeiringer, C., Mayrhofer, M. & Moser, M. 2009. Gesundheitliche Auswirkungen einer Massivholzausstattung in der Hauptschule Haus im Ennstal. Weiz, Austria. Luettavissa: https://humanresearch.at/newwebcontent/wpcontent/uploads/2012/11/pfd_Schule_ohne_Stress_Folder_de.pdf. Luettu: 12.5.2025.

Hiltunen, J. 2017. Uudistunut perinteinen hirrenveisto. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Inberg, E. 1762. Enfaldiga tankar huru trähus kunna i anseende til golf, tak och wäggar göras wäl warma. Åbo.

Jokelainen, J. 2005. Hirsirakenteiden merkitys asema-arkkitehtuurille 1860–1950. Oulun Yliopisto. Luettavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:951427735X>. Luettu: 3.5.2025.

Kaila, P. 1997. Talotohtori Rakentajan pikkujättiläinen. WSOY. Porvoo.

Kalakoski, I. 2023. Too Much to Handle: Architectural conservation in the widening scope of heritage. Tampereen yliopisto. Luettavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2870-2>. Luettu: 5.5.2025.

Ketola, J. 2014. Vanhan rakennuksen kunnostusopas -sarja Nro 2. Luettavissa: [https://piiru.fi/wp-content/uploads/2023/03/Painovoimaisen ilmanvaihdon kaytto ja huolto Vanhan rakennuksen kunnostusopas Nro2 Ketola_www.pdf](https://piiru.fi/wp-content/uploads/2023/03/Painovoimaisen_ilmanvaihdon_kaytto_ja_huolto_Vanhan_rakennuksen_kunnostusopas_Nro2_Ketola_www.pdf). Luettu: 2.5.2025.

Koga, K. & Iwasaki, Y. 2013. Psychological and physiological effect in humans of touching plant foliage - using the semantic differential method and cerebral activity as indicators. 32, 2013, 7. Luettavissa: <https://doi.org/10.1186/1880-6805-32-7>. Luettu: 1.2.2025.

Koiso-Kanttila, E., Kuuskoski, V., Rihlama, S., Ruso, R. & Sneck, T. 1970. Rakennustekniikan käsikirja: 3 : pääjakso 2 : rakennusaineet ja -tarvikkeet. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Helsinki.

Kokko, E. & Salonvaara, M. 1995. VTT:ssä tutkittiin: Massiivihirsiseinän todellinen lämmöneristyskyky. Espoo.

Kuuluvainen, L., Lindberg, B.-R., Lylykangas, K., Mikkola, J., Sainio, J. & Vuolle, M. 2018. Painovoimaisen ilmanvaihdon opas. Luettavissa: <https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2018/08/Painovoimaisen-ilmanvaihdon-opas.pdf>. Luettu: 5.4.2025.

Mikkola, J. & Kuuluvainen, L. 2021. Painovoimainen ilmanvaihto Käyttö- ja huolto-ohje Korjauskortti. Luettavissa: https://stpiensivustotprod.blob.core.windows.net/korjaustaito/Korjauskortit/PVIV/PVIV_korjauskortti.pdf. Luettu: 28.2.2025.

Mikkola, J., Kuuluvainen, L. & Böök, N. 2022. Ilmakirja: painovoimainen ilmanvaihto. Moreeni. Helsinki.

Museovirasto 2024. Korjauskortti Hirsitalon runko. Luettavissa: <https://stpiensivustotprod.blob.core.windows.net/korjaustaito/Korjauskortit/Vain-pdf/Korjauskortti-16-Hirsitalon-runko.pdf>. Luettu: 10.3.2025.

Nyrud, A.Q. & Bringsslimark, T. 2010. Is Interior Wood use Psychologically Beneficial? A Review of Psychological Responses Toward Wood. 42, s. 202–218.

Ojanen, T. 2014. Moisture capacity of log houses can improve the indoor climate conditions. Luettavissa: https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/OA-Moisture_Capacity.pdf. Luettu: 30.3.2025.

Pallari, M.-L., Heikkinen, J., Gabrielsson, J., Matilainen, V. & Reisbacka, A. 1995. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut. Espoo. Luettavissa: <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/1995/T1654.pdf>. Luettu: 3.4.2025.

Puuinfo 2020a. Puutieto Puun ominaisuudet Kosteustekniset ominaisuudet. Luettavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>. Luettu: 6.5.2025.

Puuinfo 2020b. Puu sisäilman kosteuden tasaajana. 2020. Luettavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/puu-sisailman-kosteuden-tasaajana/>. Luettu: 5.2.2025.

Puuinfo Oy 2023. Puutavaraopas. 2023, 3. Luettavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2023/10/Puutavaraopas_2023_lowres-1.pdf. Luettu: 1.2.2025.

Sakuragawa, S., Kaneko, T., Miyazaki, Y. & Makita, T. 2005. Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. 2005, 51, s. 136–140. Luettavissa: <https://doi.org/10.1007/s10086-004-0643-1>. Luettu: 1.3.2025.

Savolainen, P. & Talve, A. 2024. Arkkitehtuurin vuosituhannet. Kustannusosakeyhtiö Sammakko. Turku.

Schönberg, K. 2020. Itärajalta löytyi merkki muinaisesta asumuksesta, joka multistaisi rakennushistorian: ”Suomen oloissa aivan ainutlaatuista”. Luettavissa: <https://yle.fi/a/3-11499737>. Luettu: 3.2.2025.

Sisäilmayhdistys 2001. RT 07-10741, SISÄILMASTOLUOKITUS 2000.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. 2015. Luettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskoelma/2015/545>. Luettu: 5.5.2025

Säteri, J., Kovanen, K. & Pallari, M.-L. 1999. Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen. Espoo. Luettavissa: <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/1999/T1945.pdf>. Luettu: 3.3.2025.

Tyrväinen, L., Ojala, A., Korpela, K., Lanki, T., Tsunetsugu, Y. & Kagawa, T. 2014. The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment. *Journal of Environmental Psychology*, 38, s. 1–9. Luettavissa: <https://doi.org/10.1016/J.JENVP.2013.12.005>. Luettu: 27.2.2025.

Valtioneuvoston kirjapaino 1930. Valtionrautatiet - Huonerakennusten rakentamisosuhteita. Helsinki.

Viitaniemi, E. 2016. Yksimielisyydestä yhteiseen sopimiseen. Paikallisyhteisön poliittinen kulttuuri ja Kokemäen kivikirkon rakennusprosessi 1730–1786. Tampereen yliopisto. Luettavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-0096-8>. Luettu: 15.3.2025.

Viljanen, M., Bergman, J., Lempinen, A. & Vepsäläinen, P. 1995. Lämmittämättömän hirsirakennuksen säilyvyyden varmistaminen. Otaniemi, Espoo.

Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A. & Jokisalo, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tampere.

Vuolle-Apiala, R. 2014. Hirsityöt. Moreeni. Vantaa.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. 2017. Luettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadoks-kokoelma/2017/1009>. Luettu: 5.5.2025